

**POLARIZED LIGHT SEPARATING ELEMENT AND PROJECTION TYPE DISPLAY DEVICE USING THE SAME**

Patent Number: JP10197827  
Publication date: 1998-07-31  
Inventor(s): MASUMOTO YOSHIHIRO  
Applicant(s): MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
Requested Patent: ☐ JP10197827  
Application Number: JP19970002656 19970110  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G02B27/28 ; G02F1/13 ; G02F1/1335  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To easily obtain a thin-shaped high-efficiency polarized light separating element by constituting the polarized light separating element of a diffraction grating and an optical anisotropic layer formed adjacent to the diffraction grating.

**SOLUTION:** This polarized light separating element 101 is constituted of the diffraction grating 102 and a double refraction layer 103. The diffraction grating 102 is formed by using an isotropic transparent substrate whose refractive index is  $N_0$ . The double refraction layer 103 is constituted by orienting the positive uniaxial optical anisotropic body so that the optical axis may be aligned with the (z)-axis direction. As for the double refraction layer 103, the refractive index is  $N_1$  in the (z)-axis direction and the refractive index is  $N_2$  in an (y)-axis direction, and  $N_1 > N_2$  is established. In the case of selecting so that  $N_0 \approx N_1$  may be satisfied, the first-order polarized light 104A out of the incident light 104 goes straight through the polarized light separating element 101 as it is, then, the light 104A is emitted. Since  $N_0 > N_2$  is established, the diffraction grating 102 works on the second-order polarized light 104B, then, the second order polarized light 104B is diffracted and emitted.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-197827

(43)公開日 平成10年(1998)7月31日

(51) Int.Cl. <sup>a</sup>	識別記号
G 0 2 B 27/28	
G 0 2 F 1/13	5 0 5
1/1335	5 3 0

F I		
G 0 2 B	27/28	Z
G 0 2 F	1/13	5 0 5
	1/1335	5 3 0

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全 13 頁)

(21)出願番号            特願平9-2656

(22)出願日 平成9年(1997)1月10日

(71)出題人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 橋本 吉弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

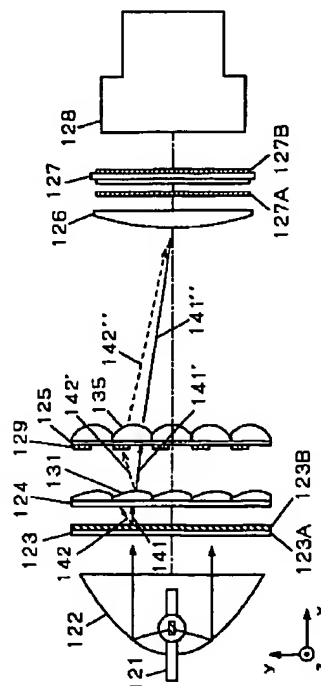
(74)代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

(54)【発明の名称】 偏光分離素子およびこれを用いた投写型表示装置

(57) 【要約】

【課題】 自然光を、偏波面の直交する 2 つの偏光光に分離する薄型の偏光分離素子を容易に実現する。当該偏光分離素子を用い、明るく品位の高い投写画像を提供する投写型表示装置を実現する。

【解決手段】 偏光分離素子は、透光性基板と、基板表面の一軸方向に形成される回折格子と、これと隣接する光学異方体層とからなり、光学異方体層は回折格子の周期方向とこれと直交する方向に異なる屈折率を有し、回折格子は2つの偏光成分のいずれか1つについてのみ選択的に作用してこれを所定角度だけ回折せしめる。投写型表示装置は、光源と、集光手段と、当該偏光分離素子と、第1レンズアレイと、第2レンズアレイと、偏波面回転手段と、空間光変調素子と、投写レンズを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射する自然光を、方位Aに電界の振動成分を有するA偏光成分と、方位Aと直交する方位Bに電界の振動成分を有するB偏光成分に分離して出射せしめる偏光分離素子であって、入射光の光軸に略直交して配置される透光性基板と、前記基板表面に沿った一軸方向Cに周期構造を有する回折格子と、前記回折格子に隣接して形成される光学異方体層とからなり、前記光学異方体層は前記基板表面上において前記方向Cとこれと直交する方向Dに異なる屈折率を有し、前記回折格子は、前記A偏光成分ないしは前記B偏光成分のいずれか1つの偏光成分についてのみ選択的に作用して当該偏光成分の光を所定角度だけ回折せしめ、前記A偏光成分の光と前記B偏光成分の光は互いに進行方向の異なる光としてこれらを出射せしめることを特徴とする偏光分離素子。

【請求項2】 自然光を放射する光源と、前記光源の放射する光を集光せしめて略一軸方向に進行する光を形成する集光手段と、前記集光手段から出射する光が入射する偏光分離素子と、前記偏光分離素子の近傍に配置される第1レンズアレイと、前記第1レンズアレイから出射する光が入射する2レンズアレイと、前記第2レンズアレイの近傍に配置されて当該レンズアレイを通過する光の一部について選択的に作用せしめる偏波面回転手段と、前記第2レンズアレイから出射する光が照射される空間光変調素子と、前記空間光変調素子上の光学像を投影する投写レンズとを備え、前記偏光分離素子は請求項1に記載の偏光分離素子であり、前記空間光変調素子は直線偏光の光に作用して前記光学像を形成し、前記第1レンズアレイは複数の第1レンズを二次元状に配列してなり、前記第2レンズアレイは前記第1レンズと対をなす複数の第2レンズを二次元状に配列してなり、互いに進行方向の異なるA偏光成分の光とB偏光成分の光は前記第1レンズにより対応する前記第2レンズの開口の異なる位置に収斂せしめられ、前記偏波面回転手段は前記第2レンズの開口上のいずれか1つの偏光成分の光にのみ選択的に作用して当該偏光成分の光の偏波面を略90度回転せしめ、前記空間光変調素子に照射される前記A偏光成分の光の偏波面と前記B偏光成分の光の偏波面とを略一致せしめてこれらを利用することを特徴とする投写型表示装置。

【請求項3】 入射する自然光を、方位Aに電界の振動成分を有するA偏光成分と、方位Aと直交する方位Bに電界の振動成分を有するB偏光成分に分離して出射せしめる偏光分離素子であって、当該偏光分離素子は複数単位の偏光分離要素を二次元状に配列して構成し、前記偏光分離要素の1単位は、前記A偏光成分の光と前記B偏光成分の光が所定方向に所定の分離角を成して互いに進行方向が異なるように出射せしめるものであり、前記偏光分離要素の少なくともいずれかについて前記偏光分離角を異ならしめることを特徴とする偏光分離素子。

【請求項4】 偏光分離要素は、入射光の光軸に略直交して配置される透光性基板と、前記基板表面に沿った一軸方向Cに周期構造を有する回折格子と、前記回折格子に隣接して形成される光学異方体層とからなり、前記光学異方体層は前記基板表面上において前記方向Cとこれと直交する方向Dに異なる屈折率を有し、前記回折格子は、前記A偏光成分ないしは前記B偏光成分のいずれか1つの偏光成分についてのみ選択的に作用して当該偏光成分の光を所定角度だけ回折せしめ、前記回折格子のピッチを異ならしめて当該偏光分離要素の分離角を適切に異ならしめることを特徴とする請求項3記載の偏光分離素子。

【請求項5】 自然光を放射する光源と、前記光源の放射する光を集光せしめて略一軸方向に進行する光を形成する集光手段と、前記集光手段から出射する光が入射する偏光分離素子と、前記偏光分離手段の近傍に配置される第1レンズアレイと、前記第1レンズアレイから出射する光が入射する第2レンズアレイと、前記第2レンズアレイの近傍に配置されて当該レンズアレイを通過する光の一部について選択的に作用せしめる偏波面回転手段と、前記第2レンズアレイから出射する光が照射される空間光変調素子と、前記空間光変調素子上の光学像を投影する投写レンズとを備え、前記空間光変調素子は直線偏光の光に作用して前記光学像を形成し、前記第1レンズアレイは複数の第1レンズを二次元状に配列してなり、前記第2レンズアレイは前記第1レンズと対をなす複数の第2レンズを二次元状に配列してなり、前記偏光分離素子は請求項3に記載の偏光分離素子であり、前記偏光分離素子是对應する前記第1レンズの位置に応じて偏光分離角を異ならしめ、互いに進行方向の異なるA偏光成分の光とB偏光成分の光は前記第1レンズにより対応する前記第2レンズの開口の異なる位置に隣接して収斂せしめられ、前記偏波面回転手段は前記第2レンズの開口上のいずれか1つの偏光成分の光にのみ選択的に作用して当該偏光成分の光の偏波面を略90度回転せしめ、前記空間光変調素子に照射される前記A偏光成分の光の偏波面と前記B偏光成分の光の偏波面を略一致せしめてこれらを利用することを特徴とする投写型表示装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主に光の偏光を利用する空間光変調素子を照明する際に用いる偏光分離素子と、当該偏光分離素子を用いた投写型表示装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、原画像を投写レンズを用いて拡大投影する投写型表示装置として、CRTを用いるもの、光源と空間光変調素子を用いるもの、が知られている。空間光変調素子としては、ツイストネマチック液晶を用いた透過型の液晶パネルが知られており、投写器の小型

化が容易であること、画素数の豊富なパネルを用いれば高精細な画像を投影できること、直視用途で液晶パネルの量産技術が確立されていること、などから広く実用化されている。

【0003】ツイストネマチック液晶は光の偏光を利用するので、このような空間光変調素子は入射側と出射側に偏光子を備える。空間光変調素子を照明する光のうち、入射側の偏光子を通過した直線偏光の光の偏光状態を空間的に変化せしめ、出射側の偏光子を通過する光量を制御して光学像を形成する。

【0004】空間光変調素子を用いた投写型表示装置は、一般に、自然光を放射するランプを用いて空間光変調素子を照明する。空間光変調素子が光の偏光を利用するものである場合、入射側の偏光子はランプの放射する自然光の約半分の光しか通過させず、これ以外の光は反射あるいは吸収されて損失となる。

【0005】これに対し、偏光変換とよばれる技術が各種提案されている。これは、光源の自然光を、必要な偏光成分の光と、これと直交する偏光成分の光にあらかじめ分離し、そのままでは利用できない偏光成分の光の偏波面を90度回転させて、2つの光の偏波面を揃えた後に空間光変調素子に供給し、これらを利用しようとするものである。

【0006】従って、偏光変換を用いた投写型表示装置には、自然光を互いに偏光方向の直交する2つの偏光成分の光に分離する偏光分離素子と、分離した片方の偏光光の偏波面を90度回転させる偏波面回転素子が必要である。偏光分離素子としては、ブリュースター角と干渉を利用した偏光分離多層膜が広く知られており、平板型、プリズム型の偏光分離素子がある。

【0007】一方、偏波面回転素子としては、 $\lambda/2$ 板と呼ばれる位相フィルムが一般に知られている。これは、光学的に透明な有機フィルムを一軸方向に延伸させて光学異方性を与えたもので、その厚みと光学異方性を制御して透過する光に波長 $\lambda$ の $1/2$ に相当する位相差を与えるものである。

【0008】 $\lambda/2$ 板に、光学軸に対して45度の方向に偏波面を有する直線偏光の光を入射させた場合、出射光は偏波面が90度回転した直線偏光となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来から提案されている偏光変換の構成ないしはこれに用いる光学系は、いずれもその本来の目的から、十分な効果を得るものではない。

【0010】以下、光源から空間光変調素子に至る光路において、空間光変調素子が本来利用する偏光方向の光について1次偏光と呼び、偏波面を回転させる前にこれと直交する偏光方向の光について2次偏光と呼ぶ。また、1次偏光の通過する光路について1次光軸とし、2次偏光の通過する光路について2次光軸とする。

【0011】偏光変換を実現する場合、1次偏光と2次偏光の両方について、光学系全体の光利用効率が十分に高くはないといけない。偏光変換を用いることで、用いない場合と比較して1次偏光の効率が大きく低下すると、偏光変換を導入したことによる光利用効率の増加が目減りし、明るさを向上させるという本来の目的を十分に達成できない。

【0012】また、2次偏光は、空間光変調素子を照明する光の明るさむらや色むらを増加させるものであってはいけない。照明光の照明むらは、投写画像の輝度むらや色むらとなるので問題がある。

【0013】更に、偏光変換を実現する手段は、1次偏光と2次偏光の光路長を著しく長くせしめるもの、光学系の大きさを大きく増加せしめるもの、光学系のコストを著しく高価にするもの、であってはいけない。長い光路での光損失が増加する、投写型表示装置が大きくなる、高価になる、という問題を生じる。

【0014】上記理由から、従来の偏光変換技術として、特開平3-13983号公報、特開平4-63318号公報、特開平4-177335号公報、特開平5-27203号公報、特開平7-64075号公報、に記載されるものは、十分ではない。いずれも偏光分離多層膜を蒸着したプリズムを用いるので、偏光分離素子が高価である、大型である、1次偏光と2次偏光の光路長を増加せしめる、光源から空間光変調素子に至る光路長が1次偏光と2次偏光で大きく異なる、投写画像を明るくするという効果が十分ではない、という問題を有する。

【0015】特に、光源から空間光変調素子に至る光路長を1次偏光と2次偏光で同一とすることは重要である。1次偏光と2次偏光の両方について、光源から出射する光を集光し、伝達し、照明する条件を同じにできる。これは、両方の偏光方向の光について、光利用効率を高くすること、照明光の均一性を同程度とすること、が容易となるので好ましい。明るく、表示むらの少ない投写画像を提供できる。

【0016】これに対し、特開平3-174502号公報に開示される偏光分離素子は、2つのプリズムの界面に光学軸を揃えた一軸性複屈折材料を挟み込んだもので、2つの偏光方向のいずれかのみを選択的に全反射させて、偏光を分離するものである。これは、耐熱性と偏光分離効率に優れたものであるが、偏光分離素子が大きく、バルク上のガラスプリズムを使用するので高価である。また、作用する光路長が長くなるので問題がある。

【0017】また、特開平4-234016号公報に開示される光学系は、1次偏光と2次偏光について、光源から空間光変調素子に至る光路長を同一としている。これは、両方の偏光の光を同じ条件で扱う上で好ましいが、当該公報に開示される構成は、全体の光路長が長く、セット全体の大きさが大きくなるという問題がある。また、部品点数も多い。

【0018】更に、特開平6-202094号公報に開示される光学系は、薄型の偏光分離素子を用いて、1次偏光と2次偏光の両方を利用できる光学系の一例を開示している。この光学系の構成を(図13)に示す。

【0019】ランプ901より放射される自然光は、放物面鏡902により集光され、第1レンズアレイ904、第2レンズアレイ905を経て、液晶パネル907を照明する。第1レンズアレイ904は照明光束を分割し、分割後の光束は第2レンズアレイ905により適当な大きさに拡大される。凸レンズ908は、分割された各光束をパネル上に重畳させる。パネル近傍の凸レンズ909は、照明光の各画角における主光線を光軸と平行にする。

【0020】903は偏光分離素子であり、その構成の一例を(図14)に示す。これは、1次偏光の光と2次偏光の光を、進行方向が角 $\theta$ だけ異なる光として出射せしめる。これにより、第1レンズアレイ904が第2レンズアレイ905の開口上に収斂せしめる光束のスポットが、一次偏光と二次偏光で、角 $\theta$ の方向に所定距離だけずれる。第2レンズアレイ905の開口近傍において、二次偏光の収斂されたスポットにのみ選択的に位相差板906を作用させてこの偏波面を90度回転させて、第2レンズアレイ905から出射する1次偏光と二次偏光の光の偏波面を同一方向に揃える。これを、液晶パネル907の入射側偏光板の偏光方向に対応させれば、光利用効率の高い光学系を実現できる。

【0021】偏光分離素子903の構成の一例を補足する。911は鋸歯状のプリズムアレイ基板、912は平面基板、913は複屈折光学材料層であり、液晶層、有機フィルム、モノマー、などが利用できるとされる。屈折率が等方性であるプリズムに隣接させて複屈折材料からなるプリズム層を組み合わせ、プリズム界面における屈折の条件を直交する偏光方向について異ならしめて、2つの偏光光を分離させて進行方向を異ならせることは、ウォラストンプリズムとして広く知られる。偏光分離素子903は、これをアレイ状にしたものであり、一般に複屈折材料として高価な方解石を用いる点を、液晶やモノマーなどの有機材料を一軸方向に配向させて利用しようとするものである。

【0022】偏光分離素子903は、原理的に上記作用は得られるものの、実際には以下の課題を有する。液晶や有機フィルムは比較的熱に弱いので、高熱を発する光源の近傍に配置して使用する上で問題がある。

【0023】また、鋸歯状のプリズムアレイは、良好な形状を加工することを考慮すれば、この周期ピッチが少なくとも1mm以上は必要と考えられる。この場合、複屈折材料層の厚みも、少なくとも1mm程度は必要となる。液晶などの複屈折性を有する分子を、磁界や電界、ラビング、などの方法により一軸方向に配向させることは広く知られているが、一般に配向できるのは大きくて

も数十ミクロンの厚みとされており、数ミリの厚い層全体を均一に良好に配向させる方法や材料は広く知られているものではない。この点については、特開平6-202094号公報に開示されていない。

【0024】従って、上記構成の偏光分離素子とこれを用いた投写型表示装置は、所望の作用を有する偏光分離素子を具現化する上で、大きな問題がある。

【0025】更に、特開平8-234205号公報は、上記点を鑑みてなされ、偏光分離素子として、バルク状のプリズムに多層膜からなる偏光選択性ミラーを組み合わせた構成を開示している。小さな偏光選択性プリズムをアレイ状に並べて、薄型の偏光分離素子を構成する方法の一例も開示されている。

【0026】しかし、このいずれの方式も、プリズムを配置するために長い光路長を必要とする、プリズムが高価である、プリズムアレイの構成が複雑で十分な効率を得られない、といった問題を有する。

【0027】本発明は上記問題を鑑みてなされたものであり、具現化が比較的容易な薄型で効率の高い偏光分離素子を提供することを目的とする。更に、当該偏光分離素子を用いて、光利用効率が高く明るい表示画像を提供する投写型表示装置を提供することを目的とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために本発明の第1の偏光分離素子は、入射する自然光を、方位Aに電界の振動成分を有するA偏光成分と、方位Aと直交する方位Bに電界の振動成分を有するB偏光成分に分離して出射せしめる偏光分離素子であって、入射光の光軸に略直交して配置される透光性基板と、基板表面に沿った一軸方向Cに周期構造を有する回折格子と、回折格子に隣接して形成される光学異方体層とからなり、光学異方体層は基板表面上において方向Cとこれと直交する方向Dに異なる屈折率を有し、回折格子は、A偏光成分ないしはB偏光成分のいずれか1つの偏光成分についてのみ選択的に作用して当該偏光成分の光を所定角度だけ回折せしめ、A偏光成分の光とB偏光成分の光は互いに進行方向の異なる光としてこれらを出射せしめるものとする。

【0029】また、上記問題点を解決するために本発明の第1の投写型表示装置は、自然光を放射する光源と、光源の放射する光を集光せしめて略一軸方向に進行する光を形成する集光手段と、集光手段から出射する光が入射する偏光分離素子と、偏光分離素子の近傍に配置される第1レンズアレイと、第1レンズアレイから出射する光が入射する第2レンズアレイと、第2レンズアレイの近傍に配置されて当該レンズアレイを通過する光の一部について選択的に作用せしめる偏波面回転手段と、第2レンズアレイから出射する光が照射される空間光変調素子と、空間光変調素子上の光学像を投影する投写レンズとを備え、偏光分離素子は上記記載の第1の偏光分離素

子であり、空間光変調素子は直線偏光の光に作用して光学像を形成し、第1レンズアレイは複数の第1レンズを二次元状に配列してなり、第2レンズアレイは第1レンズと対をなす複数の第2レンズを二次元状に配列してなり、互いに進行方向の異なるA偏光成分の光とB偏光成分の光は第1レンズにより対応する第2レンズの開口の異なる位置に収斂せしめられ、偏波面回転手段は第2レンズの開口上のいずれか1つの偏光成分の光にのみ選択的に作用して当該偏光成分の光の偏波面を略90度回転せしめ、空間光変調素子に照射されるA偏光成分の光の偏波面とB偏光成分の光の偏波面とを略一致せしめてこれらを利用するようにしたものである。

【0030】また、上記問題点を解決するために本発明の第2の偏光分離素子は、入射する自然光を、方位Aに電界の振動成分を有するA偏光成分と、方位Aと直交する方位Bに電界の振動成分を有するB偏光成分に分離して出射せしめる偏光分離素子であって、当該偏光分離素子は複数単位の偏光分離要素を二次元状に配列して構成し、偏光分離要素の1単位は、A偏光成分の光とB偏光成分の光が所定方向に所定の分離角を成して互いに進行方向が異なるように出射せしめるものであり、偏光分離要素の少なくともいずれかについて分離角を異ならしめるようにするものである。

【0031】望ましくは、本発明の第2の偏光分離素子において、偏光分離要素は、入射光の光軸に略直交して配置される透光性基板と、基板表面に沿った一軸方向Cに周期構造を有する回折格子と、回折格子に隣接して形成される光学異方体層とからなり、光学異方体層は基板表面上において方向Cとこれと直交する方向Dに異なる屈折率を有し、回折格子は、A偏光成分ないしはB偏光成分のいずれか1つの偏光成分についてのみ選択的に作用して当該偏光成分の光を所定角度だけ回折せしめ、回折格子のピッチを異ならしめて当該偏光分離要素の分離角を適切に異ならしめるようにするものである。

【0032】更に、上記問題点を解決するために本発明の第2の投写型表示装置は、自然光を放射する光源と、光源の放射する光を集光せしめて略一軸方向に進行する光を形成する集光手段と、集光手段から出射する光が入射する偏光分離素子と、偏光分離手段の近傍に配置される第1レンズアレイと、第1レンズアレイから出射する光が入射する第2レンズアレイと、第2レンズアレイの近傍に配置されて当該レンズアレイを通過する光の一部について選択的に作用せしめる偏波面回転手段と、第2レンズアレイから出射する光が照射される空間光変調素子と、空間光変調素子上の光学像を投影する投写レンズとを備え、空間光変調素子は直線偏光の光に作用して光学像を形成し、第1レンズアレイは複数の第1レンズを二次元状に配列してなり、第2レンズアレイは第1レンズと対をなす複数の第2レンズを二次元状に配列してなり、偏光分離素子は上記本発明の第2の偏光分離素子で

あり、偏光分離素子は対応する第1レンズの位置に応じて偏光分離角を異ならしめ、互いに進行方向の異なるA偏光成分の光とB偏光成分の光は第1レンズにより対応する第2レンズの開口の異なる位置に隣接して収斂せしめられ、偏波面回転手段は第2レンズの開口上のいずれか1つの偏光成分の光にのみ選択的に作用して当該偏光成分の光の偏波面を略90度回転せしめ、空間光変調素子に照射されるA偏光成分の光の偏波面とB偏光成分の光の偏波面を略一致せしめてこれを利用するようにしたものである。

【0033】

【発明の実施の形態】本発明は、偏光分離素子として回折格子と一軸性の光学異方体層を組み合わせてなることを特徴とする。本発明の具体的な説明に先立ち、まず、回折格子に関する一般的な公知事項を述べる。

【0034】(図1)は、鋸歯状の微小構造を周期的に形成してなる回折格子11の一例である。鋸歯形状の周期ピッチをD、最大高さ(深さ)をHとする。

【0035】ここで、基板の法線方向から入射する波長 $\lambda$  [m]の光12に対して、最大高さH [m]が $2\pi$ の位相差を与えるようにすると、入射光12のほぼ全てが+1次の回折光として角 $\theta$ だけ折れ曲がり、出射光12'となる。

【0036】この場合、最大高さH [m]について(数1)であり、回折角 $\theta$ について、(数2)である。但し、Nsは回折格子基板の屈折率、Naは回折格子を包む媒質の屈折率、である。

【0037】

【数1】

$$H = \lambda / (N_s - N_a)$$

【0038】

【数2】

$$\sin \theta = \lambda / D$$

【0039】(図2)は、バイナリ光学素子として知られる回折格子15の構成例である。これは、(図1)の鋸歯状の微小構造を階段状のステップ構造で近似したものである。この場合、階段の平坦部の階数をレベル数と呼び、回折格子15は7レベルの場合を図示している。

【0040】バイナリ光学素子は、半導体露光装置(ステップ光学系)を用いたフォトリソグラフィにより、微細な形状が比較的容易に形成できる利点がある。この場合も、高さHの与える位相差を $2\pi$ とすれば、入射する光16の大部分を+1次の回折光16'として出射せしめる。高さHとピッチDについて、(数1)、(数2)が同様に成立する。

【0041】また、例えばレベル数が2、4、8、16である場合について、理論的な回折効率、40.5%、81%、95%、99%、となることが知られており、レベル数を4以上とすれば、実用上ほぼ十分な回折効率を得られる。

【0042】次に、本発明の偏光分離素子の一例を（図3）に示し、その作用を述べる。偏光分離素子101は、回折格子基板102と複屈折層103から構成される。説明を容易にするために直交座標系を導入し、紙面に沿った方向をx-y平面、紙面に直交する方向をz軸とし、偏光分離素子101はy-z平面上に二次元状に拡がり、基準として考える光線104はx軸に沿って入射するものとする。

【0043】例えば、回折格子102は（図1）に示したものと同様であり、鋸歯状の微小構造をy軸方向にピッチDで周期的に形成してなる。鋸歯構造の物理的な最大高さはHとする。回折格子102は屈折率がN0の等方性透明基板を用いて形成する。

【0044】一方、複屈折層103は、正の一軸性光学異方体を光学軸がz軸方向と一致するように配向させて構成したものである。複屈折層103について、z軸方向の屈折率をN1とし、y軸方向の屈折率をN2とし、 $N1 > N2$ とする。

【0045】回折格子102の基板の法線（x軸）方向から入射する自然偏光の光104について、電界がz軸方向に振動する偏光成分の光を1次偏光104Aとする。同様に、電界がy軸方向に振動する偏光成分の光を2次偏光104Bとする。

【0046】例えば、回折格子102の基材の屈折率N0と複屈折層103の屈折率N1を、 $N0 \approx N1$ を満たすように選択する。こうすれば、1次偏光104Aの光にとっては、回折格子102はあたかも存在しないようになり、入射光104のうち1次偏光104Aは、そのまま偏光分離素子101を直進して出射する。

【0047】これに対し、 $N0 > N2$ であるので、2次偏光104Bの光に対しては、回折格子102が作用し、2次偏光104Bは回折されて出射する。

【0048】この場合、回折格子102の高さHは、（数3）を満たすように選択する。

【0049】

【数3】

$$H = \lambda / (N2 - N0)$$

【0050】これは、（数1）から、基準波長 $\lambda$ の光について回折格子の与える最大の位相差が $2\pi$ となるための条件式である。このような鋸歯状の回折格子は、波長 $\lambda$ の光について+1次の回折光が理論上100%となる。ただし、基準波長 $\lambda$ は可視の波長帯域を代表する波長として、例えば550nmとすればよい。回折角 $\theta$ は、回折格子の周期ピッチDを用いて（数2）である。

【0051】上記理由から、入射する光104のうち2次偏光104Bは、その大部分が $\theta$ だけ回折されて出射する。つまり、偏光分離素子101は、入射光104を互いに進行方向が角 $\theta$ をなす1次偏光104Aと2次偏光104Bに分離して出射せしめるように、作用する。

【0052】更に、本発明の偏光分離素子は（図4）に示す偏光分離素子111であってもよい。これは（図3）の回折格子101の替わりに、（図2）に示したバイナリ光学素子を用いたものである。（図3）と同様の直交座標系を導入する。

【0053】例えば、回折格子112は、階段状の微小構造をy軸方向にピッチDで周期的に形成したもので、レベル数は7とする。具体的に、一周期Dを7個の短冊領域に等分割し、等しいステップ高さ $H/6$ を順次積み上げて、階段形状を構成する。記号Hは、階段形状の物理的な最大高さである。回折格子112の基材は、屈折率N0の等方性透明材料とし、複屈折層113は（図3）に示したものと同様とする。

【0054】電界の振動方向がz軸方向である1次偏光114Aの光は、回折格子112の作用を受けず、そのまま偏光分離素子111を直進して出射する。これに対し、電界の振動方向がy軸方向である2次偏光114Bの光は、回折格子112により回折されて出射する。

【0055】この場合も、回折格子112の最大高さHは、基準波長 $\lambda$ に与える位相差が $2\pi$ となるように選択する。このように選択されたステップ状のバイナリ光学素子は+1次の回折光が支配的となり、7程度のレベル数であれば実用上十分な回折効率となる。2次偏光114Bの回折角 $\theta$ は、回折格子の周期ピッチDを用いて（数2）と同様である。

【0056】（図3）と（図4）に示した偏光分離素子は、回折格子を利用するので、複屈折層103、113の厚みが非常に薄いことを特徴とする。10度程度の回折角を得るには、ピッチDは数ミクロン程度であり、回折格子の高さも同程度となる。従って、液晶分子や、液晶モノマー、液晶ポリマー、一軸性有機材料、などを回折格子の微小構造部に充填し、所定の一軸方向に配向させることが極めて容易であり、実現性、量産性、に優れた偏光分離素子を得ることができる。

【0057】特に、微小ピッチの回折素子を構成する場合、バイナリ光学素子は、加工性に優れている。半導体露光装置に用いられるステッパ露光を用いて、レジスト塗布、パターン露光、エッチング、のプロセスを組み合わせ、加工精度が高く、量産性に優れ、安価で、比較的大面積の回折格子を成形できる。従って、（図2）に示した偏光分離素子は、回折格子の実現性が極めて容易であり、より量産性に優れたコストの安い素子を実現できる。

【0058】以下、本発明の偏光分離素子と投写型表示装置の具体的な実施形態を、図面と数値例を挙げて述べる。

【0059】（偏光分離素子の実施例1）偏光分離素子の第1の実施例として、（図3）に示したものについてより詳細に述べる。

【0060】例えば、回折格子102は屈折率が1.6



の等方性透明体とする。また、複屈折層103は、正の複屈折性を有する材料を光学軸をz軸と一致させて配向したものであり、z軸方向の屈折率を回折格子の屈折率と同じ1.6とする。また、これと直交するy軸方向の屈折率を1.45とする。

【0061】上記構成は、例えば、適切に生成された液晶ポリマー、液晶モノマーなどの有機分子を、回折格子101上で強制的に配向させた状態で硬化させることで実現できる。配向手段としては、例えば、ポリイミド膜を塗布した上でのラビング処理を行う、適切な磁界を加える、適切な電界を加える、などがある。

【0062】例えば、1次偏光104Aと2次偏光104Bの分離角 $\theta$ を8度とするために、(1)式を用いて、回折格子102のピッチDは $3.95\mu\text{m}$ とする。ただし、基準波長 $\lambda$ として最も視感度の高い $550\text{nm}$ を選んだ。

【0063】この場合、回折角 $\theta$ は波長に依存して変化するがその程度は小さく、偏光分離素子として用いる上で特に問題はない。例えば、 $D=3.95\mu\text{m}$ の場合、波長 $490\text{nm}$ の青の光について回折角は7.1度、波長 $610\text{nm}$ の光について回折角は8.8度、である。

【0064】また、2次偏光104Bについて+1次の回折効率を最大とするために、(2)式から、回折格子の最大高さ $H=3.67\mu\text{m}$ とする。これにより、基準波長 $550\text{nm}$ の光については、2次偏光104Bのほぼ全ての光が回折されて角 $\theta$ の方向に分離される。波長が異なると回折効率は低下するが、可視の全波長帯域で実用上十分な回折効率を得ることができる。

【0065】(偏光分離素子の実施例2)偏光分離素子の第2の実施例として、(図4)に示したもののについてより詳細に述べる。上記第1の実施例において(図3)に適用した構成と数値パラメータは、ほぼ同様に(図4)に適用できる。これにより、上記第1の実施例と同様に、例えば偏光分離角が8度の偏光分離素子を構成できる。

【0066】回折格子112のレベル数は、少なくとも4以上、できれば8程度にすることで、実用上十分な回折効率を得ることができる。

【0067】上記第1と第2の実施例では、複屈折層103、113を、正の光学異方体として定義し、その配向方向をy軸方向に限定したが、本発明の効果は特にこの構成に限定されない。負の光学異方体であってもよく、また、複屈折層の光学軸はy軸方向に一致せしめても構わない。回折格子を直進する1次偏光の偏光方向ないしは2次偏光(回折光)の曲がる方向が異なるだけで、上述と同様に1次偏光と2次偏光を、互いに角 $\theta$ をなして進行する光として分離して出射せしめることができる。

【0068】また、上記偏光分離素子は、偏光の分離角を容易に制御できる利点を有する。つまり、回折格子1

02、112の格子ピッチDを変化させて、分離された1次偏光と2次偏光のなす角 $\theta$ を任意に設定できる。これは、偏光分離素子以降の光学系を構成する上で、設計上の自由度が増えるので極めて好ましい。

【0069】更に、上記実施例では、入射光を回折格子の基板側から入射させる場合について述べたが、複屈折層側から入射させても、同様の作用と効果を得ることができる。

【0070】(投写型表示装置の実施例1)以下、本発明の投写型表示装置の第1の実施例について、(図5)を用いて述べる。

【0071】本発明の投写型表示装置は、基本的に、ランプ121、放物面鏡122、偏光分離素子123、第1レンズアレイ124、第2レンズアレイ125、フィールドレンズ126、液晶パネル127、投写レンズ128、から構成される。第2レンズアレイ125の片面には、部分的に位相差板129が貼付される。説明を容易にするために(図3)と同様の直交座標系を導入し、x軸を放物面鏡122の回転対称軸に沿った光軸方向、z軸を紙面に直交する方向とする。

【0072】液晶パネル127は、この用途に一般的なツイストネマチック液晶を、画素構造を有するガラス基板で挟持したものであって、その入射側と出射側に、偏光板127Aと127Bを備える。便宜上、入射側偏光板127Aの透過軸(透過させる光の電界の振動方向)はz軸方向とする。液晶パネル127には、外部から映像信号が供給され、二次元状の画素構造により光学像を形成する。当該光学像は、投写レンズ128によりスクリーン上に投影されて、大画面映像を呈示せしめる。

【0073】偏光分離素子123は、例えば、本発明の偏光分離素子の実施例1に示したものであり、(図3)のように構成してなる。y軸方向に周期的に構成された鋸歯状の回折格子123Aと、z軸方向に配向された正の一軸性光学異方体123Bを、適切に構成してなる。

【0074】第1レンズアレイ124は、複数の第1レンズ131を二次元状に配列してなり、その構成の一例を(図6)に示す。(図5)で導入した直交座標系について、(図6)中にその対応を示す。これは、放物面鏡122から出射する正円の光束断面に内接させて18個の第1レンズ131を配列せしめたものである。第1レンズ131の各光軸中心は131Aであり、全てのレンズについて適切に偏心させている。

【0075】第2レンズアレイ125は、複数の第2レンズ135を二次元状に配列してなり、その構成の一例を(図6)と同様に(図7)に示す。第2レンズ135の各々は第1レンズ131に対応させて同数を同様に配列してなる。第2レンズ135の各々は、対応する第1レンズ131の開口と液晶パネル127の表示領域を互いに共役とせしめ、各レンズを通過する光束を重畳形態でパネル上に導く。



【0076】各第2レンズ135のおよそ半分の領域には、選択的に適切に位相差板129を貼付する。位相差板129は、入射する光の偏波面を約90度回転させるために用い、通過する光を代表する波長 $\lambda$ について、 $\lambda/2$ の位相差板であればよい。その光学軸は、後述する作用を果たすように適切な方向が選択される。本実施例では、y軸方向からz軸方向に45度回った方向136と位相差板129の光学軸方向を一致せしめる。

【0077】偏光分離素子123の作用により、2次偏光142は1次偏光141に対してy軸方向に所定角度 $\theta$ だけずれて進行し、第1レンズアレイ124に入射する。1つの第2レンズ135について、位相差板129の無い領域は1次偏光141のための開口領域であり、その重心を135Aとする。位相差板129の有る領域は2次偏光142のための開口領域であり、その重心を125Bとする。

【0078】上記重心135A近傍を、収斂した1次偏光141'が通過するように、第1レンズ131の光軸中心131Aを定めると良い。また、収斂された2次偏光142'は、第2レンズ135の開口上でy軸方向に所定距離だけずれた位置を通過する。上記偏光分離角 $\theta$ を適切に選択すれば、収斂した2次偏光142'の通過位置を上記重心135B近傍とせしめることができる。

【0079】ランプ121から放射される自然偏光の光は、偏光分離素子123により、電界の振動方向がz軸方向である1次偏光141と、y軸方向である2次偏光142に分離され、これらはy軸方向に互いに各 $\theta$ を成して進行する光となって第1レンズアレイ124に入射する。第1レンズアレイ124により収斂された光は、第2レンズアレイ125の開口上に離散的な照明スポットを形成し、上記構成から、2次偏光の通過領域にのみ選択的に位相差板129が挿入されい波面は90度回転し、z軸方向となる。入射側偏光板127Aに到達する1次偏光141'と2次偏光142'の偏波面は、いずれもz軸方向となるので、これらは偏光板を通過して液晶パネル127を照明する光として有効に利用される。

【0080】上記構成によれば、従来は入射側偏光板で吸収されて損失となった2次偏光の光を有効に利用できるため、光利用効率の高い投写型表示装置を実現でき、明るい投写画像を提供できる。

【0081】上記投写型表示装置に用いる偏光分離素子123は、回折格子と適切に構成された複屈折光学層から成り、複屈折光学層の必要な厚みが数ミクロン程度と極めて薄いので、液晶ポリマーなどの一軸性光学異方体を良好に配向させて構成できる。

【0082】また、上記照明光の経路は、1次偏光と2次偏光について、ほぼ等しい光路長であり、放物面鏡122で集光された光の大部分は第1レンズアレイ124に入射し、第2レンズアレイ125を経て液晶パネル127に到達するので、1次偏光と2次偏光ともに、高い

光利用効率を実現できる。これにより、明るさを向上させる効果の高い偏光変換光学系を実現できる。

【0083】(偏光分離素子の実施例3) 偏光分離素子の第3の実施例を、(図8)を用いて述べる。偏光分離素子151は、(図5)に示したような投写型表示装置に用いた場合に、以下に述べる格別の効果を発揮するように、構成されたものである。

【0084】(図8)は、偏光分離素子151の正面図であり、その断面方向の構成は、上記本発明の偏光分離素子の第1実施例、または第2実施例、と同様である。ただし、偏光分離素子を構成する複数の回折格子151Aを、二次元状に配列している。また、各回折格子151Aの有効領域は矩形開口とし、各領域において回折ピッチを適切に異ならしめている。これらのアレイ状回折格子の表面に、一軸方向に配向された正の光学異方体層を密着させて、1次偏光は直進、2次偏光は回折させて、入射する光を分離する。(図8)において矩形開口中の波線ハッチングは、各矩形開口領域の回折格子の周期ピッチが、場所に依って異なる様子を模式的に示すために付記する。

【0085】偏光分離素子151は、例えば以下の手順に従って具現化できる。まず、必要な偏光分離角の種類に応じて、複数の異なる周期ピッチの回折格子を形成する。具体的な構成は(図3)または(図4)に示したものと同様であり、具現化すべき格子形状の母型を、機械的な精密加工、フォトリソ工程などにより成形する。これらの母型を、与えられた矩形開口形状で切り出し、複数個を適切に配列させて組み型を構成する。これを母型として、透明樹脂材料などをプレス成形すれば、偏光分離素子151の回折格子基板を得る。この回折格子面について、ラビング処理や、電界または磁界などの強制力を持って、一軸性光学異方体を強制配向させ、紫外線硬化などの手法によりその状態を保持すれば良い。これにより、上記本発明の偏光分離素子の第1または第2実施例と同様の素子を二次元状に配列し、かつ偏光分離角を適宜異ならしめた形態で、容易に具現化できる。

【0086】上記構成は、偏光分離素子151から出射する1次偏光と2次偏光の光の分離角が、場所に依ってより好ましく異なることを特徴とする。このように構成された偏光分離素子は、これと組み合わせて構成される投写型表示装置において、より設計の自由度が高く、より光利用効率の高い光学系を実現できる利点がある。

【0087】(投写型表示装置の第2実施例)(図8)に示した本発明の偏光分離素子の第3実施例を用いて、(図5)と同様の投写型表示装置を構成する場合に、より大きな効果を得ることのできる構成の一例を述べる。

【0088】(図9)は、第1レンズアレイ161の構成の一例である。矩形開口を有する36個の第1レンズ161Aを、二次元状に配列している。第1レンズ161Aの各開口は、照明する液晶パネルの表示領域と相似

形状である。第1レンズ161Aの光軸は、各々について適宜偏心させる。こうすれば、各第1レンズが第2レンズアレイ上に形成する照明スポットの配置を、比較的自由に調整することができる。(図9)は、(図6)に示した構成と比較して、レンズの個数を多くすると、液晶パネルを照明する光の明るさの均一性が向上する、光利用効率が高くできる、といった利点がある。

【0089】参考として、偏光分離素子を用いない従来の構成の場合に、(図9)に示した配列及び開口形状の第1レンズアレイと組み合わせて用いる第2レンズアレイ162の構成の一例を(図10)に示す。第2レンズアレイ162の開口上には、第1レンズアレイにより収斂された複数の照明スポットが形成される。これは、ランプ内の発光体の実像163に相当し、その大きさと分布の一例を(図10)中に模式的に付記する。

【0090】以下に述べる理由から、第2レンズアレイ162を構成する第2レンズ164の開口は、当該開口上に形成される実像163の大きさに合わせて適切に異ならしめ、これらを凝集して配列し、第2レンズアレイ全体の有効開口の広がりをしてできるだけ小さくしている。そのために、対応する第2レンズ164の開口位置に合わせて、対応する第1レンズの偏心方向と偏心量を決める。

【0091】(図5)を参照し、第2レンズアレイ125から出射した光の液晶パネル127に対する照射角は、投写レンズ128の集光角と等しいかそれ以下でなければ、投写レンズを有効に通過できない光が発生し、光損失を生じる。従って、液晶パネルから見た第2レンズアレイの有効開口の広がり、は、できるだけ小さいことが好ましい。これは、液晶パネルを通過する照明光の照射角をできるだけ小さくすることである。

【0092】この理由から、(図10)に示す第2レンズアレイ162の開口形状と複数の実像163の配置は、都合がよい。波線で示した正円165は、投写レンズの集光範囲のより好ましい一例を第2レンズアレイ上に書き示したものである。この正円165を投写レンズの入射瞳と見なし、実像163を当該入射瞳上における複数の発光体の実像の大きさと分布として扱うことができる。ここで、入射瞳の広がり(面積)に対して複数の実像163の広がり(面積)の総和が占める割合を瞳利用率とすれば、瞳利用率の高い光学系ほど、投写型表示装置にとって、より明るく好ましい光学系と言える。

【0093】(図5)に示した投写型表示装置において、(図8)に示した偏光分離素子151を用いることは、瞳利用率の高い光学系を実現する上で、極めて高い効果を得る。具体的に、(図8)に示した偏光分離素子151と(図9)に示した第1レンズアレイ161と組み合わせて用いる第2レンズアレイ171の構成の一例を(図11)に示し、この理由を述べる。

【0094】第2レンズアレイ171は、開口の大きさ

と形状の異なる第2レンズ172を正円173の有効領域内に凝集させて配列してなる。各第2レンズ172の波線で区切られたおよそ半分の領域(便宜上、ハッチングで図示)には、当該領域を通過する2次偏光の偏波面を90度回転させる位相差板が貼付される。(図9)の第1レンズアレイ161と(図11)の第2レンズアレイ171には、各レンズの対応関係を明確化するために、(1)~(36)の数字を付記する。

【0095】第2レンズアレイ171の構成は、各第2レンズ172上に形成される実像の大きさが、光軸の近傍ほど大きく、光軸から離れるほど小さいことを積極的に利用し、瞳利用率がより大きくなるように、第1レンズアレイの形成する実像を配列し、それに対応したレンズの開口形状と配列を構成したものである。この場合に、第2レンズアレイ171上に構成される実像の大きさと分布の一例を、(図10)と同様にして(図12)中に模式的に付記する。

【0096】実線で示した36個の実像175は、第1レンズアレイを通過する1次偏光成分についての照明スポットである。各実像175は、対応する第2レンズの開口の対応する位置に配置されるように、第1レンズ161Aを適宜偏心させている。

【0097】破線で示した実像176は、同じく2次偏光成分についての照明スポットである。これらの実像176は、偏光分離素子151の作用により、1次偏光についての実像175に対して所定方向に所定距離だけずれて形成される。ところが、瞳利用率を向上させるために第2レンズ172の開口形状と配列を変化させると、各第1レンズと第2レンズの対ごとに、当該第1レンズを通過する1次偏光と2次偏光の偏光分離角を適宜異ならしめる必要がある。第2レンズアレイ171上でずらすべき実像175と実像176の距離に応じて、当該偏光分離角を適宜定める必要がある。

【0098】(図8)に示した偏光分離素子151は、上記理由から構成されたもので、第1レンズアレイ161上の対応する第1レンズ161Aごとに、その近傍にあって当該レンズを通過する2つの偏光光の偏光分離角を、適宜、容易に異ならしめることができる。偏光分離素子151は、回折格子を組み合わせてなるので、各矩形領域中での回折ピッチを適宜異ならしめるだけで、容易に偏光分離角を制御できる利点がある。

【0099】具体的に、本発明の効果のある設計事例にちて数値を用いて述べる。上記本発明の投写型表示装置の第2実施例において、第2レンズアレイから液晶パネルに至る光路長を固定し、第2レンズアレイの有効開口の大きさと瞳利用効率を述べる。

【0100】(図10)に示した偏光分離素子を用いない従来の構成の場合、広がった実像163から放射される光を損失なく利用するために、投写レンズの入射瞳は破線165の大きさが必要であり、これはFナンバーに

換算して $F/2.5$ に相当した。この場合に、実像163の拡がり(面積)の総和の、入射瞳(半径165の正円)の面積に占める割合として瞳利用率は、約33%であった。

【0101】(図12)に示した本発明の偏光分離素子を用いる構成の場合、拡がった実像175と176から放射される光を損失なく利用するために、投写レンズの入射瞳は正円177の大きさが需要であり、これはFナンバーに換算して $F/2.3$ に相当した。この場合に瞳利用率は、約57%であった。

【0102】両者を比較すると、本発明により、投写レンズの集光角をあまり大きくすることなく、瞳利用率を約2倍に向上させて、1次偏光と2次偏光の両方の成分について、十分に高い光利用効率を実現できる。これは、投写レンズの口径を大きくしなくてもいいので、よりコストの安い光学系を実現できる。または、より小さい発光体のランプを利用しなくてもいいので、より明るく信頼性の高いランプを利用して、より明るい投写型表示装置を実現できる。

【0103】これにより、本願発明の偏光分離素子と、これを用いた投写型表示装置は、光利用効率が高く、明るい投写画像を提供するので、極めて大きな効果を得る。

【0104】

【発明の効果】本発明の偏光分離素子は、回折格子と一軸性光学異方体を組み合わせてなるので、構成が単純で、偏光分離効率が高く、偏光分離角を制御しやすい、という利点がある。また、光学異方体を配向させる厚みは数ミクロン程度と薄いので、液晶ポリマーなどの一軸性異方体を容易かつ良好に配向、充填し、所望の素子を容易に、かつ高い量産性で実現できる。

【0105】更に、本発明の投写型表示装置は、上記本発明の偏光分離素子を用いて、明るく表示むらの少ない投写画像を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】回折格子の一般的な作用を説明するための略線

図

【図2】他の回折格子の一般的な作用を説明するための略線図

【図3】本発明の偏光分離素子の一実施例を示す略構成図

【図4】本発明の他の偏光分離素子の一実施例を示す略構成図

【図5】本発明の投写型表示装置の一実施例を示す略構成図

【図6】第1レンズアレイの構成の一例を示す略構成図

【図7】第2レンズアレイの構成の一例を示す略構成図

【図8】本発明の更に他の偏光分離素子の一実施例を示す略構成図

【図9】第1レンズアレイの構成の他の一例を示す略構成図

【図10】第2レンズアレイの従来の構成の一例を示す略構成図

【図11】第2レンズアレイの構成の他の一例を示す略構成図

【図12】第2レンズアレイ上に形成される発光体の実像の一例を示す模式図

【図13】従来の投写型表示装置の一例を示す略構成図

【図14】従来の偏光分離素子の一実施例を示す略構成図

【符号の説明】

101, 111, 123, 151 偏光分離素子

102, 112 回折格子

103, 113 一軸性光学異方体

121 ランプ

122 放物面鏡

124, 161 第1レンズアレイ

125, 171 第2レンズアレイ

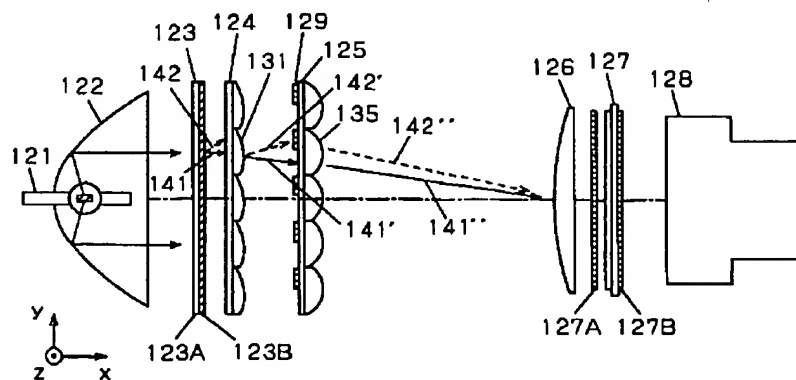
126 フィールドレンズ

127 液晶パネル

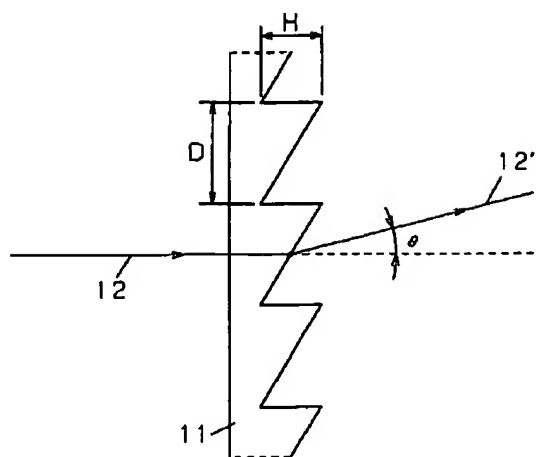
128 投写レンズ

129 位相差板

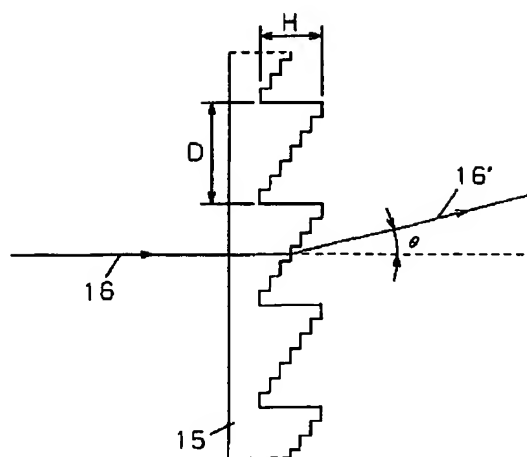
【図5】



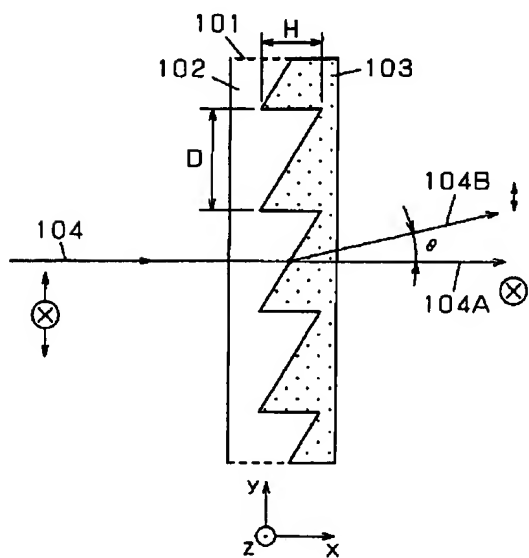
【図1】



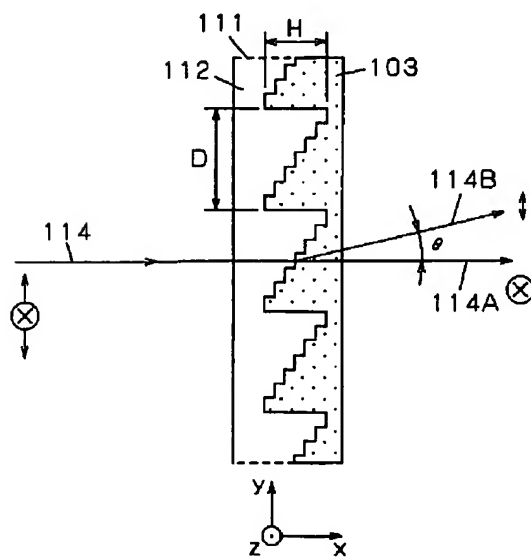
【図2】



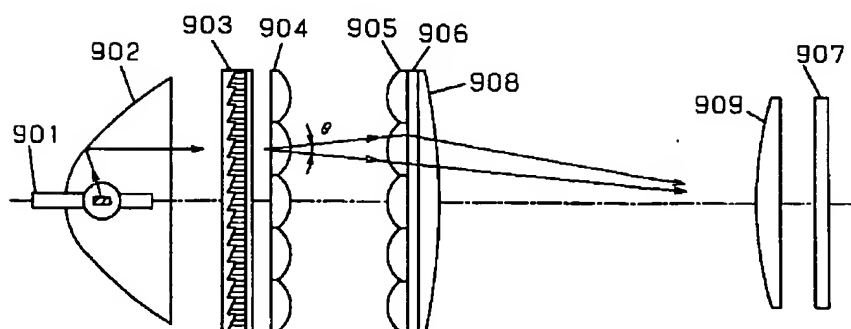
【図3】



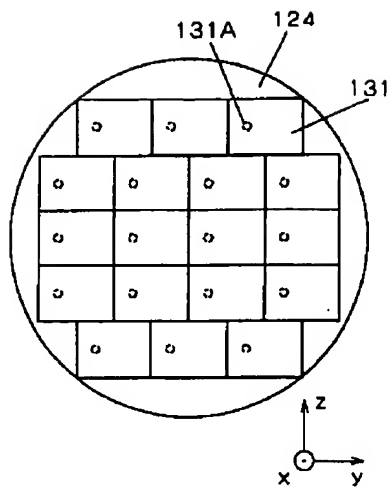
【図4】



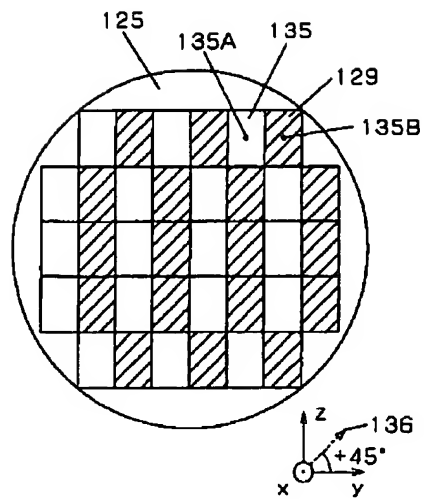
【図13】



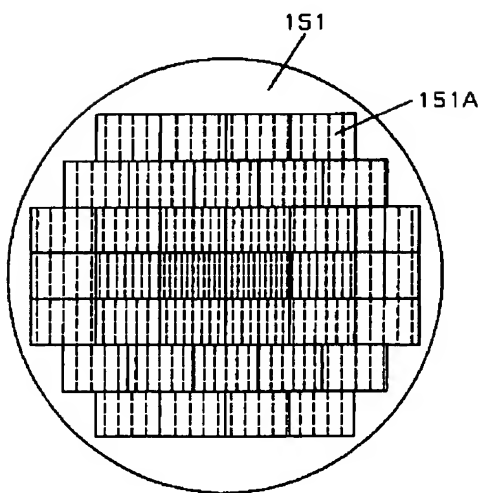
【図6】



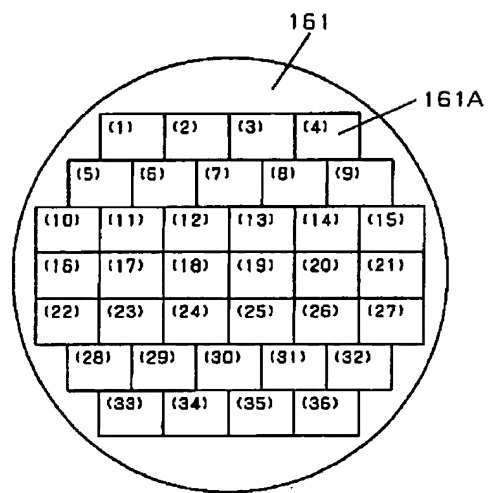
【図7】



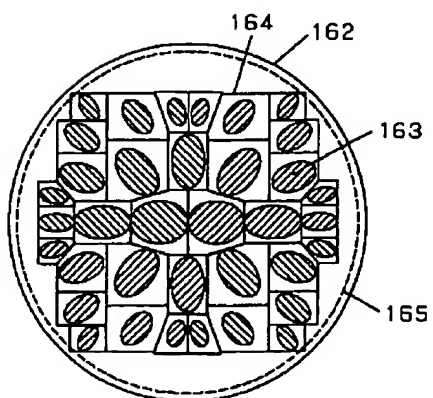
【図8】



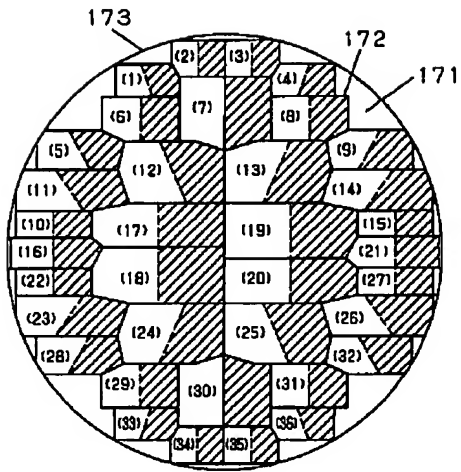
【図9】



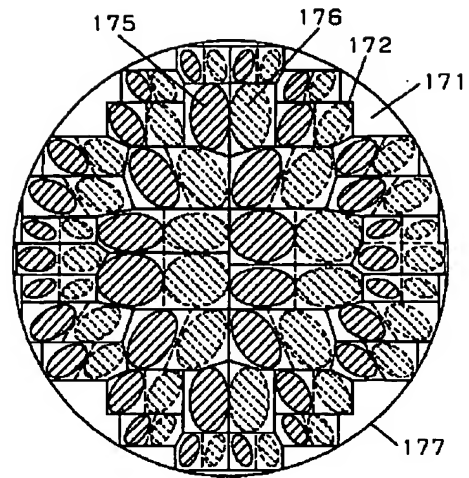
【図10】



【図11】



【図12】



【図14】

